

核技术利用项目

北京大学  
新增回旋加速器及配套设施项目

环境影响报告表

北京大学（盖章）

2018年2月

环境保护部监制

核技术利用项目

北京大学

新增回旋加速器及配套设施项目

环境影响报告表

项目建设单位：北京大学

建设单位法人代表（签名或签章）：林建华

通讯地址：北京市海淀区颐和园路 5 号

邮政编码：100871

联系人：李恩敬

电子邮箱：hbb@pku.edu.cn

联系电话：62757558

# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	17
表 3 非密封放射性物质 .....	18
表 4 射线装置 .....	19
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	20
表 6 评价依据 .....	21
表 7 保护目标和评价标准 .....	23
表 8 环境质量和辐射现状 .....	26
表 9 项目工程分析和源项 .....	28
表 10 辐射安全与防护 .....	34
表 11 环境影响分析 .....	40
表 12 辐射安全管理 .....	53
表 13 结论与建议 .....	58
表 14 审批 .....	60

表 1 项目基本情况

建设项目名称	新增回旋加速器及配套设施项目				
建设单位	北京大学				
法人代表	林建华	联系人	李恩敬	联系电话	62757558
注册地址	北京市海淀区颐和园路 5 号				
项目建设地点	北京大学技术物理大院				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资(万元)	1070	项目环保投资(万元)	265	环保投资比例	25%
项目性质	新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>			占地面积(m <sup>2</sup> )	160
应用类型	放射源	销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		使用	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		销售	/		
		使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
<p><b>项目概述</b></p> <p><b>1.单位概况</b></p> <p>北京大学创建于 1898 年，初名京师大学堂，是第一所国立综合性大学，也是当时中国的最高教育行政机关。辛亥革命后，于 1912 年改为现名。</p> <p>作为新文化运动的中心和“五四”运动的策源地，作为中国最早传播马克思主义和民主科学思想的发祥地，作为中国共产党最早的活动基地，北京大学为民族的振兴和解放、国家的建设和发展、社会的文明和进步做出了不可代替的贡献，在中国走向现代化的进程中起到了重要的先锋作用。爱国、进步、民主、科学的</p>					

传统精神和勤奋、严谨、求实、创新的学风在这里生生不息、代代相传。

中华人民共和国成立后，全国高校于 1952 年进行院系调整，北京大学成为一所以文理基础教学和研究为主的综合性大学，为国家培养了大批人才。据不完全统计，北京大学的校友和教师有近 400 位两院院士，中国人文社科界有影响的人士相当多也出自北京大学，并且产生了一批重大研究成果。

改革开放以来，北京大学进入了一个前所未有的大发展、大建设的新时期，并成为国家“211 工程”重点建设的两所大学之一。

北京大学位于京城西郊，占地 2661581 平方米（3992.277 亩）。现有 201 个博士点、244 个硕士点、101 个本科专业，以及覆盖 139 个专业的 35 个博士后流动站。北京大学拥有的教授、博士生导师、中科院院士及国家重点学科和国家重点实验室的数量均居全国高校之首。

## 2.核技术及辐射安全管理现状

### 2.1 核技术利用现状

北京大学于 2017 年 9 月重新申领了辐射安全许可证（国环辐证[00176]，见附件 1），其种类和范围为：使用 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所。

#### （1）密封源

北京大学申请使用 195 枚密封源，I 类源 4 枚，IV 类源 18 枚、V 类源 176 枚。目前，实际使用 102 枚密封源，其中 I 类源 4 枚，IV 类源 3 枚、V 类源 95 枚，使用场所具体情况见表 1-1。

表 1-1 北京大学使用密封源明细

序号	核素	活度(贝可)×枚数	类别	场所	用途
1	Pu-238	1.11E+09×1 枚	IV	核物理实验室	科研实验
2	Pu-238	7.40E+08×1 枚	IV	基础物理实验中心	科研实验
3*	<b>Ra-226/Be</b>	1.85E+10×1 枚	IV	<b>镭铍中子源实验室</b>	科研实验
4	Cs-137	1.85E+05×1 枚	V	钴源室	科研实验
5	Cs-137	1.85E+05×1 枚	V	钴源室	科研实验
6	Am-241	4.38E+07×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
7	Am-241	2.04E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
8	Am-241	1.00E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验

9	Co-60	1.52E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
10	Co-60	1.11E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
11	Co-60	1.11E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
12	Co-60	1.85E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
13	Co-60	1.58E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
14	Co-60	1.00E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
15	Co-60	1.60E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
16	Co-60	1.06E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
17	Co-60	1.03E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
18	Co-60	3.70E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
19	Cs-137	1.24E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
20	Cs-137	3.70E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
21	Cs-137	1.85E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
22	Cs-137	1.85E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
23	Cs-137	1.26E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
24	Cs-137	1.25E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
25	Cs-137	1.63E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
26	Fe-55	1.48E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
27	Fe-55	1.48E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
28	Fe-55	1.48E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
29	Fe-55	4.81E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
30	Mn-54+Co-60+ Cs-137	2.40E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
31	Pu-238	3.70E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
32	Pu-238	3.70E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
33	Pu-238	3.70E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
34	Pu-238	3.70E+08×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
35	Pu-239	1.11E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
36	Pu-239	1.11E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
37	Pu-239	1.11E+05×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
38	Tl-204	1.55E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
39	Tl-204	1.51E+06×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
40	Am-241	4.38E+04×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
41	Am-241	5.13E+04×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
42	Am-241/Be	1.20E+06×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
43	Cf-252	2.40E+06×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
44	Cs-137	6.96E+04×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验

45	Cs-137	2.85E+04 ×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
46	Pu-239	1.21E+05 ×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
47	Kr-85	3.70E+08 ×1 枚	V	环境模拟与污染控制国家重点联合实验室	科研实验
48	Kr-85	3.70E+08 ×1 枚	V	环境模拟与污染控制国家重点联合实验室	科研实验
49	Am-241	1.07E+07 ×1 枚	V	环境学院辐射实验室	科研实验
50	Sr-90	1.48E+09 ×1 枚	V	环境学院辐射实验室	科研实验
51	Sr-90	2.96E+09 ×1 枚	V	环境学院辐射实验室	科研实验
52	Cs-137	7.40E+08 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
53	Cs-137	3.70E+04 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
54	Cs-137	3.70E+04 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
55	Cs-137	3.70E+04 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
56	Cs-137	3.70E+04 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
57	Cs-137	3.70E+04 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
58	Cs-137	3.70E+04 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
59	Cs-137	3.70E+04 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
60	Cs-137	3.70E+04 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
61	Sr-90/Y	3.70E+07 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
62	Sr-90/Y	3.70E+07 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
63	Sr-90/Y	3.70E+07 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
64	Sr-90/Y	3.70E+07 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
65	Sr-90/Y	3.70E+07 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
66	Sr-90/Y	3.70E+07 ×1 枚		基础物理实验中心	科研实验
67	Sr-90/Y	3.70E+07 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
68	Sr-90/Y	3.70E+07 ×1 枚	V	基础物理实验中心	科研实验
69	Am-241	1.07E+07 ×1 枚	V	科技考古与文物保护实验室	科研实验
70	Cm-244	1.85E+07 ×1 枚	V	科技考古与文物保护实验室	科研实验
71	Cm-244	1.85E+07 ×1 枚	V	科技考古与文物保护实验室	科研实验
72	Co-60	3.70E+07 ×1 枚	V	科技考古与文物保护实验室	科研实验
73	Cs-137	7.40E+05 ×1 枚	V	科技考古与文物保护实验室	科研实验
74	Sr-90	1.48E+09 ×1 枚	V	科技考古与文物保护实验室	科研实验
75	Sr-90	3.70E+09 ×1 枚	V	科技考古与文物保护实验室	科研实验
76*	Kr-85	3.70E+08 ×1 枚	V	物理学院大气科学系	科研实验
77	Am-241	9.33E+04 ×1 枚	V	应用化学系放射性开放实验室	科研实验
78	Am-241	2.70E+04 ×1 枚	V	应用化学系放射性开放实验室	科研实验
79	Am-241	5.53E+04 ×1 枚	V	应用化学系放射性开放实验室	科研实验

80	Co-60	1.10E+05 ×1 枚	V	应用化学系放射性开放实验室	科研实验
81	Cs-137	1.55E+05 ×1 枚	V	应用化学系放射性开放实验室	科研实验
82	Cs-137	1.18E+05 ×1 枚	V	应用化学系放射性开放实验室	科研实验
83	Cs-137	7.73E+04 ×1 枚	V	应用化学系放射性开放实验室	科研实验
84	Sr-90	1.00E+06 ×1 枚	V	应用化学系放射性开放实验室	科研实验
85	Co-60	5.37E+14 ×1 枚	I	钴源室	科研实验
86	Co-60	5.37E+14 ×1 枚	I	钴源室	科研实验
87	Am-241	1.48E+05 ×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
88	Cs-137	3.70E+08 ×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
89	Kr-85	7.40E+07 ×1 枚	V	环境模拟与污染控制国家重点联合实验室	科研实验
90	Co-57	1.85E+08 ×1 枚	V	基础物理实验中心	穆斯堡尔谱仪
91	Cs-137+Co-60+Mn-54	7.03E+05 ×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
92	Am-241	1.40E+05 ×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
93	Am-241	1.40E+04 ×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
94	Co-60	4.18E+14 ×1 枚	I	钴源室	科研实验
95	Co-60	4.11E+14 ×1 枚	I	钴源室	科研实验
96	Cs-137	3.70E+05 ×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
97	Co-60	3.70E+05 ×1 枚	V	核物理实验	科研实验
98	Co-60	3.70E+05 ×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
99	Co-60	3.70E+05 ×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
100	Co-60	3.70E+05 ×1 枚	V	核物理实验室	科研实验
101	Co-60	3.70E+05 ×1 枚	V	核物理与核技术国家重点实验室	科研实验
102	Sr-90	1.85E+09 ×1 枚	V	环境学院辐射实验室	科研实验

\*: 为报废的放射源，其中 Ra-226/Be 所在的镭铍中子源实验室将改建成本项目新增的辐射工作场所。

## (2) 非密封源

北京大学申请使用的非密封源的情况见表 1-2，属于丙级非密封放射性物质工作场所。



表 1-2 北京大学申请使用的非密封源明细

序号	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	场所名称
1	Cr-51	1.00E+06	1.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
2	Ga-68	1.00E+05	1.00E+09	应用化学系放射性开放实验室
3	Mn-56	1.00E+06	1.00E+09	应用化学系放射性开放实验室
4	Ge-68	1.00E+06	1.00E+09	应用化学系放射性开放实验室
5	Mo-99	1.00E+07	1.10E+11	应用化学系放射性开放实验室
6	H-3	1.00E+06	2.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
7	Ca-45	1.00E+06	1.00E+09	应用化学系放射性开放实验室
8	Eu-154	1.00E+06	1.00E+08	应用化学系放射性开放实验室
9	Pd-103/Rh-103m	1.00 E+06	1.00E+09	应用化学系放射性开放实验室
10	V-48	1.00E+05	1.00E+08	应用化学系放射性开放实验室
11	U-238	1.00E+06	1.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
12	Lu-177	1.00E+06	1.00E+09	应用化学系放射性开放实验室
13	Eu-152	1.00E+06	1.00E+08	应用化学系放射性开放实验室
14	W-188/Re-188	1.00E+06	1.00E+09	应用化学系放射性开放实验室
15	In-111	100E+06	1.00 E+09	应用化学系放射性开放实验室
16	Tc-99	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
17	H-3	1.00E+06	2.00E+10	生命科学学院公用同位素室
18	C-14	3.70E+06	7.40E+09	生命科学学院公用同位素室
19	Th-天然	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
20	Re-188	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
21	Re-186	1.00E+07	3.00 E+10	应用化学系放射性开放实验室
22	Tm-170	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
23	Sm-153	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
24	U-天然	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
25	Er-169	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
26	Nd-147	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
27	Ce-141	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
28	Cs-137	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
29	I-131	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
30	I-125	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
31	Sn-133(In-133m)	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
32	Zr-95	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
33	Sr-89	1.00E+07	3.00 E+10	应用化学系放射性开放实验室
34	Sr-85	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
35	Se-79	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
36	Cu-64	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
37	Fe-59	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室

38	S-35	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
39	S-35	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
40	P-32	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
41	F-18	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
42	Co-60	1.00E+07	3.00E+09	应用化学系放射性开放实验室
43	P-32	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
44	C-14	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
45	I-129	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
46	Tc-99m	1.00E+07	2.00E+11	应用化学系放射性开放实验室
47	Cl-36	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
48	P-32	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
49	Y-90	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室
50	Se-75	1.00E+07	3.00E+10	应用化学系放射性开放实验室

### (3) 射线装置

北京大学实际使用 9 台 II 类射线装置、60 台 III 类射线装置，明细见表 1-3。

表 1-3 北京大学使用的射线装置明细

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所
1	1.3GHz 超导粒子加速器	自制	II	教学科研	核物理与核技术国家重点实验室
2	RFQ 加速器中子照相装置	自制	II	教学科研	核物理与核技术国家重点实验室
3	x-光机	IXS080BP056P064	III	教学科研	核物理与核技术国家重点实验室
4	2X6 加速器	串列静电	II	教学科研	核物理与核技术国家重点实验室
5	4.5 加速器	单级静电	II	教学科研	核物理与核技术国家重点实验室
6	RFQ 加速器	ISR-RFQ-1000	II	教学科研	核物理与核技术国家重点实验室
7	加速器	串列静电 NEC5SDH-2	II	教学科研	核物理与核技术国家重点实验室
8	X 射线衍射仪	D/max-pc2500	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室
9	X 射线衍射仪	GADDS8 discover	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室
10	X 射线衍射仪	KappaC D	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室

11	X 射线衍射仪	XRD-6000	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
12	X 射线荧光光谱仪	S4— xplorer	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
13	X 射线衍射仪	Dmax/2400	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
14	X 射线衍射仪	BrukerD8 Advance	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
15	多功能成像电子能谱仪	AXIS Ultra	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
16	X 射线衍射仪	MultiFlux	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
17	X 射线衍射仪	X'pert Pro	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
18	X 射线衍射仪	D8 GADDS	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
19	小角 X 光散射仪	SAXSess	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
20	X-荧光能谱仪	QuanX/ECD	III	教学 科研	科技考古与文物保护 实验室
21	便携式变频充气 X 射线探伤机	XXQ-2005	II	教学 科研	科技考古与文物保护 实验室
22	X 射线衍射仪	ProtumR	III	教学 科研	生命科学学院衍射仪 室
23	小型动物 CT	Oxford Instrumen Microfocus	III	教学 科研	实验动物中心
24	X 射线装置	554 81	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
25	材料衍射仪	X'Pert MRD	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
26	X 射线装置	554 81	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
27	X 射线装置	554 81	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
28	X 射线衍射仪	BdX3200	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
29	X 射线装置	554 81	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
30	X 射线装置	554 81	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
31	X 射线装置	554 81	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
32	X 射线装置	554 81	III	教学	物理学院III类射线装

				科研	置实验室
33	X 射线装置	554 81	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
34	材料衍射仪	X'Pert MRD	III	教学 科研	物理学院III类射线装 置实验室
35	X 射线生物学辐照 仪	美国 RS2000 型	II	教学 科研	理科 4 号楼 B1
36	单螺旋 CT	CT/e	III	医疗 诊断	实验动物中心
37	数字曲面断层	Gnedex Drthoralix9200	III	医疗 诊断	校医院
38	64 排 CT	SOMATOM	III	医疗 诊断	校医院
39	曲面断层	PM2002	III	医疗 诊断	校医院
40	DSA	Artis U	II	医疗 诊断	校医院
41	牙片机	Expert DC	III	医疗 诊断	校医院
42	牙片机	Expert DC	III	医疗 诊断	校医院
43	牙片机	Expert DC	III	医疗 诊断	校医院
44	牙片机	Expert DC	III	医疗 诊断	校医院
45	DR	BR-120M	III	医疗 诊断	校医院
46	DR	BR-121M	III	医疗 诊断	校医院
47	数字胃肠机	OD	III	医疗 诊断	校医院
48	乳腺机	700T	III	医疗 诊断	校医院
49	X 射线荧光光谱仪	ARL ADVANT'XP+	III	教学 科研	地球与空间科学学院 射线装置实验室
50	X 射线衍射仪	X'Pert Pro MPD	III	教学 科研	地球与空间科学学院 射线装置实验室
51	X 射线衍射仪	D8 ADVANCE	III	教学 科研	1 号楼 518
52	X 射线衍射仪	SuperNova	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室
53	X 射线衍射仪	XtaLAB-PRO	III	教学 科研	化学与分子工程学院 射线装置实验室

54	X 射线衍射仪	D8 ADVANCE	III	教学科研	物理学院III类射线装置实验室
55	X 射线衍射仪	D8 DISCOVER	III	教学科研	物理学院III类射线装置实验室
56	骨密度仪	OS EOVIEW	III	医疗诊断	校医院
57	电子枪	EFG-HL50-1W	III	仪器标定	地球与空间科学学院射线装置实验室
58	台式 X 射线衍射仪	DZPHASER	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室
59	X 射线光电子能谱仪	AXIS SUP2A	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室
60	高分辨粉末 X 射线衍射仪	PANalytical Empyrean	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室
61	X 射线微焦斑单晶衍射仪	SuperNova	III	教学科研	生命科学学院衍射仪室
62	X 射线衍射仪	Miniflex600	III	教学科研	物理学院III类射线装置实验
63	牙科 X 射线机(其他)	NewTomVGi	III	医疗诊断	校医院
64	智能 X 射线衍射仪	SmartLab 9kW	III	教学科研	工学院射线装置实验室
65	单晶 X 射线衍射仪	XtaLab Pro	III	教学科研	工学院射线装置实验室
66	X 射线成像仪	RAPID-S	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室
67	使用小动物 PET/CT	Mediso	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室
68	X 射线衍射仪	DZPHASER	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验
69	X 射线衍射仪	PANalytical X'pert 3	III	教学科研	化学与分子工程学院射线装置实验室

## 2.2 环保审批的履行情况

北京大学 2015~2017 年期间,申请的辐射项目及履行环保审批情况见表 1-4。

表 1-4 北京大学近三年履行环保审批情况

序号	项目名称	备案号
1	北京大学使用III类射线装置项目	201711010800003360

2	北京大学使用钴-57 放射源项目（2017）	201711010800003333
3	北京大学使用III类射线装置项目（2017）	201711010800000716

## 2.3 辐射安全管理现状

### 2.3.1 辐射管理机构

北京大学设有环境保护办公室、辐射防护室，设有专职工作人员，在辐射防护领导小组和辐射防护专业小组的领导下，协调、完成全校日常辐射防护工作。

北京大学辐射防护领导小组由主管副校长担任组长，成员由各相关职能部门部长和各院系院长（主任）组成。辐射防护专业小组现有 8 人，由专业性强、熟悉院系放射工作的教师组成。详见表 1-5。

为落实辐射防护具体工作，各涉源院系成立了相应的工作小组。该小组由分管安全的各院系主任担任小组组长，定期与校环境保护办公室、辐射防护室沟通工作方法和意见，保证辐射防护工作安全、顺利、有效地进行。

表 1-5 辐射安全与环境保护管理机构

机构名称	辐射防护领导小组及其办公室 (环境保护办公室、辐射防护室)			电话：010-62751267/7558	
管理人员	姓名	性别	职务或职称	工作部门	专职/兼职
负责人	刘克新	男	副部长	实验室与设备管理部	兼职
负责人	张新祥	男	部长、教授	实验室与设备管理部	兼职
负责人	黄凯	女	副部长	实验室与设备管理部	兼职
成员	张志强	男	主任、助理研究员	环境保护办公室	专职
成员	杨跃平	男	副部长	保卫部	兼职
成员	刘德英	女	书记	生命科学学院	兼职
成员	吴小红	男	副院长、教授	考古文博学院	兼职
成员	云虹	男	院长、主任医师	校医院	兼职
成员	吴朝东	男	副部长、教授	科学研究部	兼职
成员	金鑫	男	副院长	城市与环境学院	兼职
成员	周江	男	副院长	化学与分子工程学院	兼职
成员	李焱	男	副院长	物理学院	兼职
成员	张飞舟	男	副院长	地球与空间科学学院	兼职
成员	张剑波	男	副院长	环境科学与工程学院	兼职
成员	孙智利	男	书记	工学院	兼职
成员	崔宏伟	女	副处长	医学部设备处	兼职

成员	谢冰	男	副院长	信息学院	兼职
成员	李恩敬	女	助理研究员	环境保护办公室	专职

### 2.3.2 规章制度建设及落实

北京大学已经制定了比较完善的安全管理制度，并严格按照规章制度执行：

- (1) 《北京大学辐射安全与防护管理办法》；
- (2) 《辐射防护岗位职责》；
- (3) 《北京大学涉源单位安全保卫职责规定》；
- (4) 《北京大学辐射工作人员安全与职业健康管理实施细则》；
- (5) 《北京大学放射性同位素与射线装置台帐管理制度》；
- (6) 《北京大学辐射安全事故应急预案》；
- (7) 《北京大学废旧放射源和放射性废物管理和处置规定》；
- (8) 《化学与分子工程学院放射安全和防护管理相关制度》；
- (9) 《物理学院放射安全和防护管理相关制度》。
- (10) 《生命科学学院放射安全和防护管理相关制度》；
- (11) 《城市与环境学院放射安全和防护管理相关制度》；
- (12) 《环境科学与工程学院放射安全和防护管理制度》；
- (13) 《考古文博学院放射安全和防护管理相关制度》；
- (14) 《实验动物中心辐射安全与防护管理制度》；
- (15) 《工学院放射安全和防护管理相关制度》；
- (16) 《地空学院放射安全和防护管理相关制度》；
- (17) 《北京大学医院放射安全和防护管理相关制度》。

### 2.3.3 人员培训

北京大学规定所有辐射工作人员，在上岗前必须接受环保部认可培训机构组织的辐射防护与安全培训，考试合格上岗。每4年参加复训，并制定了辐射工作人员培训计划。目前，北京大学共有辐射工作人员79人，全部接受了辐射安全防护培训，并取得了合格证书，辐射工作人员情况见附件2。

### 2.3.4 个人剂量监测

北京大学所有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京蓝道尔辐射监

测技术有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。在岗的辐射工作人员均已按照规范佩戴了个人剂量计，在个人剂量计佩戴时间每次届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，并将每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案。北京大学 2016 年度个人剂量检测结果见附件 3。根据个人剂量统计结果（0.01~0.79）mSv，辐射工作人员年个人剂量最大值 0.79mSv，低于北京大学辐射项目的剂量约束值 2mSv/a。其中有 1 名人员将参加本项目的放射性操作，剂量为 0.08 mSv/a。辐射工作人员的受照剂量满足剂量约束值的有关要求，说明北京大学采取的辐射防护和安全管理措施是可行的。

### 2.3.5 工作场所及辐射环境监测

辐射监测器材设备配备齐全，设备状态良好，按时完成了设备的校准检测，检测设备均定期校准并取得检测合格证。

### 2.3.6 辐射事故应急管理

北京大学制定了《放射源和射线装置意外事故应急准备与响应计划》，预案中明确了应急指挥机构、人员组成及分工、应急部门及人员职责、应急器材，发生辐射事故时的报告、通讯联络方式、应急处置方式等。

### 2.3.7 监测仪器和防护用品

北京大学的 210 名放射操作人员都配有个人剂量计（除 79 名老师外，其余为学生）。北京大学配置的辐射监测仪器和防护用品情况见表 1-6，能够满足现在工作的需要。

表 1-6 现有辐射监测仪器和防护用品

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	备注
1	中子雷姆探测器	FJ1903A	2009.12	未正式使用	物理学院
2	γ 剂量仪探头	DG1305	2009.12	未正式使用	物理学院
3	中子雷姆探测器	FJ1903A	2009.12	正常使用	物理学院
4	γ 剂量仪探头	DG1305	2009.12	正常使用	物理学院
5	固定多路式监测报警器	RMS5120	2009.12	正常使用	物理学院



6	X-γ 报警仪	FJ376G	2009.12	正常使用	物理学院
7	个人剂量仪	M1621	2006.6	正常使用	校环保办
8	个人剂量仪	P 1208	2006.6	正常使用	校环保办
9	便携式巡检谱仪	GR-135	2006.6	正常使用	校环保办
10	表面污染监测仪	Monitor	2004	正常使用	生命科学学院
11	表面污染监测仪	Monitor	2013	正常使用	校环保办
12	大面积 β+γ 检查仪	FJ-402	2011.5	正常使用	化学与分子工程 院
13	X-γ 个人剂量仪	FJ-376G2	2011.5	正常使用	化学与分子工程学院
14	测氦及氦洗出率仪	BH3212A1	2011.12	正常使用	化学与分子 程学院
15	便携式 n-γ 检测仪	FJ373	2011.12	正常使用	化学与分子工程学院
16	便携式 X-γ 剂量率	BH 103B	2011.12	正常使用	化学与分子工程学院
17	个人剂量报警仪	EPM01 (4 台)	2014	正常使用	物理学院
18	监视器		2007-2010	正常使用	
19	辐射防护用品 (含 个 剂 监测)	个人剂量监测计、铅玻璃、铅砖、铅罐、铅防护眼镜、铅衣、铅围裙、 防护面罩、有机玻璃屏风、通风柜、防盗门、保险柜、红外报警仪			

### 3. 本次评价内容

北京大学化学与分子工程学院应用化学系为推动基础科研的进步，建设立足基础科研、面向临床应用的 PET 分子影像与放射化学平台。运用放射化学、核物理、化学生物学、合成化学、分子影像学和核医学等多个学科的技术和手段来发展原创性的放射性药物，切实推动我国精准医疗事业的发展。现阶段，将以解决临床实际问题为目的，发展新型 PET 分子探针以及 PET 影像引导下的精准医疗平台。在未来，也希望通过新 PET 探针的开发，在活体内探索与生命活动相关的分子机制，推动基础科研的进步。

PET 分子影像通常所需的放射性核素半衰期短，短时间内剂量减小快，还必须使用一些因半衰期极短无法购买的科研核素，因而需要一个稳定、可靠、及时的放射性同位素来源以保障放射性分子影像研究需求。小型回旋加速器体积小、易操作、安全可靠，是科研及医用放射性同位素的首选来源。

因此，北京大学应用化学系拟新建放射性药物研究中心，用于 PET 分子影像与放射化学基础科研。放射性药物研究中心包括使用一台回旋加速器并配套建设 PET 药物生产场所。

放射性药物研究中心拟建在北京大学技术物理大院西北角，该场所由镭铍中子源实验室拆除后新建而成，原有一枚 Ra-226/Be 中子源，活度为 500 毫居，属于 IV 类放射源。镭铍中子源 1986 年 4 月 30 日在北大建账，为学校放射化学、核物理教学工作的开展而建立的，平时中子源在地下 3 米处，有水泥和水做屏蔽，使用时升起可以活化照射样品。2001 年以前由技术物理系管理，2001 年院系调整后由物理学院技物系管理。2012 年起，该中子源由化学学院应用化学系放射化学实验室管理。该放射源用于教学科研。2017 年 5 月起停止使用。2017 年 7 月 13 日移交至北京市放射性废物库。

#### (1) 14MeV 回旋加速器

新增的回旋加速器是中国原子能科学研究院研制，型号 CYCIAE-14。束流：负氢离子；束流能量：14MeV；引出束流强度：0~300 $\mu$ A，属于 II 类射线装置。

#### (2) 丙级非密封源工作场所

同时新建配套的 PET 药物生产场所，在热室内进行制备、分装和储存，该场所操作的 7 种核素的性能参数及操作情况见表 1-7 所示。该场所的日等效操作量及等级见表 1-8。其日等效最大操作量为 1.85E+7Bq，小于 2E+7Bq，属于丙级非密封源工作场所。

表 1-7 放射性核素性能参数一览表

序号	核素	半衰期	衰变类型	毒性	平均能量(keV)	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)
1	F-18	1.83h	EC, $\beta^+$	低毒	249.8	1.85E+09	4.63E+11
2	Cu-64	12.7h	EC, $\beta^+$	低毒	190.7	1.85E+09	4.63E+11
3	Zr-89	78.41h	EC, $\beta$	中毒	395	1.85E+08	4.63E+10
4	Y-90	64.1h	$\beta$	中毒	933.7	1.85E+08	4.63E+10
5	Tc-99m	6.01h	IT, $\gamma$	低毒	140.5	1.85E+09	4.63E+11
6	In-111	2.83d	$\gamma$	中毒	2 5	1.85E+08	4.63E+10
7	Lu-177	6.647d	$\beta^-$	中毒	149	1.85E+08	4.63E+10

表 1-8 制备和分装非密封源工作场所分级

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性组别	毒性组别修正因子	操作方式*	理化性质	操作方式修正因子	日等效操作量 (Bq)
F-18	1.85E+09	低毒	0.01	简单	液态	1	1.85E+07
Cu-64	1.85E+09	低毒	0.01	简单	液态	1	1.85E+07
Zr-89	1.85E+08	中毒	0.	简单	液态	1	1.85E+07
Y-90	1.85E+08	中毒	0.1	简单	液态	1	1.85E+07
Tc-99m	1.85E+09	低毒	0.01	简单	液态	1	1.85E+07
In-111	1.85E+08	中毒	0.1	简单	液态	1	1.85E+07
Lu-177	1.85E+08	中毒	0.1	简单	液态	1	1.85E+07
日等效最大操作量**							1.85E+07
非密封源工作场所级别 (丙级: 豁免活度值以上~2E+7)							丙级
*: 本项目对非密封物质的主要操作是: 液态样品的制备、分装和储存, 根据《辐射防护手册-辐射安全》(第三分册) 第 143 页对操作类型具体方式的举例, 为简单的操作。 **: 每天只操作一种核素。							

中国原子能科学研究院受北京大学委托, 对新增回旋加速器及配套设施项目进行辐射环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2017), 本项目新增 II 类射线装置和丙级非密封源工作场所, 需编制环境影响报告表。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式和地点	备注
无								

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明何种核素及产生的中子流强度

表3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式和地点
1	F-18	液态	制备、分装、储存	1.85E+09	1.85E+07	4.63E+11	科研	简单操作	PET药物生产场所	热室铅柜
2	Cu-64	液态	制备、分装、储存	1.85E+09	1.85E+07	4.63E+11	科研	简单操作	PET药物生产场所	热室铅柜
3	Zr-89	液态	制备、分装、储存	1.85E+08	1.85E+07	4.63E+10	科研	简单操作	PET药物生产场所	热室铅柜
4	Y-90	液态	制备、分装、储存	1.85E+08	1.85E+07	4.63E+10	科研	简单操作	PET药物生产场所	热室铅柜
5	Tc-99m	液态	制备、分装、储存	1.85E+09	1.85E+07	4.63E+11	科研	简单操作	PET药物生产场所	热室铅柜
6	In-111	液态	制备、分装、储存	1.85E+08	1.85E+07	4.63E+10	科研	简单操作	PET药物生产场所	热室铅柜
7	Lu-177	液态	制备、分装、储存	1.85E+08	1.85E+07	4.63E+10	科研	简单操作	PET药物生产场所	热室铅柜
/										

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各类加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II	1 台	CYCIAE-14	H <sup>-</sup>	14	0.3mA	制备 PET 核素	放射性药物研究中心	
/										

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
无									
/									

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	贮存情况	数量	
无													
/													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放总量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
活化气体	气态	Ar-41	--	--	--	--	--	通风排入大气
靶片、靶室零件、实验容器（滴管、离心管）、核素纯化树脂、注射器、移液枪头、实验手套等劳保用品	固体	F-18、 Cu-64、 Zr-89、 Y-90、 Tc-99m、 In-111、 Lu-177	----	----	0.5m <sup>3</sup>	--	先暂存在加速器室、热室各铅柜内、热室放射性废物桶	交由应用化学系统一管理、北京大学核废料库暂存，暂存超过 10 个半衰期后申请解控，按一般化学废弃物处理
放射性废水	液态	F-18、 Cu-64、 Zr-89、 Y-90、 Tc-99m、 In-111、 Lu-177	----	----	----	----	先收集在废液瓶，暂存在热室铅柜	交由应用化学系统一管理，送北京大学核废料库储存。待暂存 10 个半衰期后申请解控，按普通化学废液处理

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用kg。

2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg或Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日施行；                  (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2016 年 9 月 1 日起施行；                  (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日起施行；                  (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(修改本) 国务院令 第 653 号，2014 年 7 月 29 日起施行；                  (5) 《建设项目环境保护管理条例》国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；                  (6) 《关于修改&lt;放射性同位素与射线装置安全许可管理办法&gt;的决定》，环境保护部令 第 3 号，2008 年 12 月 6 日；                  (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起施行；                  (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环境保护部第 44 号令，2017 年 9 月 1 日起施行；                  (9) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日；                  (10) 《关于发布&lt;射线装置分类&gt;的公告》，环境保护部 国家卫生和计划生育委员会 公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日；                  (11) 《关于发布&lt;放射性废物分类&gt;的公告》，环境保护部 工业和信息化部 国家国防科技工业局 公告 2017 第 65 号，2018 年 1 月 1 日施行。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；                  (2) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)；                  (3) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；                  (4) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；                  (5) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)；                  (6) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；                  (7) 《X、γ 外照射个人监测规定》(EJ 1153-2004)；</p>



	<p>(8) 《低、中水平放射性固体废物暂时储存规定》(GB11928-1989)。</p> <p>(9) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2007)；</p> <p>(10) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)。</p>
其他	北京大学提供的相关技术资料。

表 7 保护目标和评价标准

### 1. 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 中的规定, 并结合该项目辐射为能量流污染的特征, 根据能量流的传播与距离相关的特性, 确定本次辐射环境评价范围为以 II 类射线装置机房外 50m 的区域。

### 2. 评价目的

通过对本项目内容进行分析和估算, 以期达到以下目的:

- (1) 对建设项目环境辐射现状进行调查及辐射环境现状进行监测;
- (2) 评价项目在运行过程中对工作人员及可能受影响周围公众所造成的辐射影响;
- (3) 评价辐射防护措施效果, 提出减少辐射危害的措施。

### 3. 保护目标

放射性药物研究中心位于北京大学技术物理大院的西北角, 技术物理大院地理位置见附图 1, 本项目的评价范围为回旋加速器机房周围 50m 的区域, 见附图 2。一层回旋加速器机房的平面布局见附图 3。二层 PET 核素的制备场所的平面布局见附图 4; 三层通风机房的平面布局见附图 5。

新增辐射工作场所周围 50m 内环境情况及保护目标分布见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

序号	辐射工作场所	方位	周围场所	人员类别	相对距离, m	剂量评价结果, mSv/a
1	回旋加速器室	东侧	控制室	工作人员	/	--
		南侧	院内道路	公	1m	5.83E-02
		西侧	院墙	无	2.2m	<5.83E-02
		北侧	院墙	无	1m	5.83E-02
		楼上	通风机房、热室	工作人员	/	--
		楼下	无	无	/	/
2	热室	东侧	气闸、穿洁净服间	工作人员	/	
		南侧	无	无	/	/
		西侧	加速器室	无	/	/
		北侧	后区走廊	工作人员	/	--
		楼上	通风机房	工作人员	/	--
		楼下	加速器室迷道	工作人员	/	--
3	放射性药物研究中心	东侧	北大射频超导实验室	公众	6.5m	<5.83E-02
		南侧	北大等离子体实验室	公众	1m	5.83E-02
		西侧	科峰公寓	公众	13m	<5.83E-02
		北侧	中科院过程物理所	公众	1m	5.83E-02
		楼上	无	/	/	/
		楼下	无	/	/	/

#### 4. 评价标准

##### (1) 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定, 工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下。

##### ①职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制, 使之不超过下述限值: 审管部门决定连续 5 年的平均有效剂量 (但不可作为任何追溯性平均), 20mSv。任何一年中的有效剂量不超过 50mSv。

## ②公众照射

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量：**1mSv**。

### (2) 剂量约束值

综合考虑到核技术利用现状和项目所在的地点，对本项目工作人员的剂量约束值取 **2mSv/a**，公众的剂量约束取 **0.1mSv/a**。

### (3) 屏蔽体外剂量率控制水平

回旋加速器机房四周墙外和入口门外 **30cm** 处附加辐射剂量率均采用 **2.5 $\mu$ Sv/h** 的剂量率控制值。

### (4) 表面污染控制水平

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B 表 B11 所规定的限制要求。详见表 7-2。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：**Bq/cm<sup>2</sup>**

表面类型		$\beta$ 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服 手套、工作	控制区和监督区	4
手、皮肤、内衣 工作袜		0.4

### (4) 室内空气质量

室内空气质量臭氧和氮氧化物浓度限值执行 **GBZ2.1-2007《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》**，臭氧的最大容许浓度 **0.3mg/m<sup>3</sup>**，**NO<sub>2</sub>** 的时间加权容许浓度为 **5mg/m<sup>3</sup>**，短时间接触容许浓度为 **10mg/m<sup>3</sup>**。

### (5) 环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行 **GB3095-2012《环境空气质量标准》** 中的二级浓度限值，臭氧的 1 小时平均浓度 **0.2mg/m<sup>3</sup>**，**NO<sub>2</sub>** 的 1 小时平均浓度 **0.2mg/m<sup>3</sup>**。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

2017 年 10 月 25 日，天气晴。评价单位对北京大学技术物理大院的西北角的拟建场所进行了本底监测，监测时，原镭铍中子源实验室尚未拆除。监测内容为  $\gamma$  剂量率，中子周围剂量当量率、土壤中总  $\alpha$  总  $\beta$ 。采用的监测设备见表 8-1

表 8-1 监测设备及性能指标

仪器名称	型号	出厂编号	主要技术性能指标	检定日期
辐射测量仪	FH40G+ FHZ672 E-10	024979 +0810	测量范围： 1nGy/h~100 $\mu$ Gy/h; 能量范围：48keV~6MeV; 相对响应之差：< $\pm$ 15%； 校准因子：1.01。	2016 年 12 月 2 日
中子周围剂量当量率仪	LB123+LB6411	178982 -4092+1501	测量范围：50nSv/h ~ 100mSv/h; 能量范围：热中子~20MeV。	2017 年 6 月 16 日

监测方法：

外照射剂量率监测方法：采用便携式监测仪表，以定点的测量方式进行。监测时每点测量 4 次，每次间隔 5 秒钟，取平均值。

土壤中总  $\alpha$  总  $\beta$  监测方法：使用专用的取样工具，采用梅花布点法对采样点取 0~10cm 表层土，送实验室用低本底  $\alpha$ 、 $\beta$  测量仪分析。

监测结果：

外照射剂量率监测结果见表 8-2 和表 8-3。

表 8-2 拟建场址现有室内部分外照射剂量率监测结果\*

监测点位	点位描述	$\gamma$ 辐射剂量率 nGy/h	中子周围剂量当量率 $\mu$ Sv/h
1	东北角	107.8 $\pm$ 1.3	<LLD <sub>中子</sub>
2	东南角	103.0 $\pm$ 0.8	<LLD <sub>中子</sub>
3	中部	106.1 $\pm$ 2.2	<LLD <sub>中子</sub>
4	西北角	112.4 $\pm$ 1.5	<LLD <sub>中子</sub>
5	西南角	108.6 $\pm$ 0.6	<LLD <sub>中子</sub>

注：\*监测结果含宇宙射线响应值；

LLD<sub>中子</sub>=0.05 $\mu$ Sv/h。

表 8-3 拟建场址现有室外部分外照射剂量率监测结果\*

监测点位	点位描述	$\gamma$ 辐射剂量率 nGy/h	中子周围剂量当量率 $\mu\text{Sv/h}$
6	房屋外东侧	98.3 $\pm$ 1.4	<LLD <sub>中子</sub>
7	房屋外南侧偏东	118.4 $\pm$ 1.0	<LLD <sub>中子</sub>
8	房屋外南侧偏西	120.7 $\pm$ 0.6	<LLD <sub>中子</sub>

注：\*监测结果含宇宙射线响应值；

LLD<sub>中子</sub>=0.05 $\mu\text{Sv/h}$ 。

由表 8-2 和表 8-3 可知，本项目拟建场址现有室内部分环境地表  $\gamma$  辐射剂量率的范围为（103.0~112.4）nGy/h，中子周围剂量当量率监测结果均低于 0.05 $\mu\text{Sv/h}$ ；室外部分环境地表  $\gamma$  辐射剂量率的范围为（98.3~120.7）nGy/h，中子周围剂量当量率监测结果均低于 0.05 $\mu\text{Sv/h}$ 。根据《北京市环境天然贯穿辐射水平调查研究》（吴增新等，辐射防护，第 12 卷第 6 期，1992 年 11 月），北京市室内  $\gamma$  辐射剂量率水平（含宇宙射线）范围为（71.3~180.6）nGy/h，北京市道路  $\gamma$  辐射剂量率水平（含宇宙射线）范围为（47.0~137.3）nGy/h。因此，本项目拟建场址现有室内部分外照射剂量率水平处于北京地区的正常本底范围之内，本项目拟建场址现有室外部分外照射剂量率水平处于北京地区的正常本底范围之内。

拟建场址东侧土壤总  $\alpha$  总  $\beta$  分析结果见表 8-4。

表 8-4 土壤总  $\alpha$  总  $\beta$  分析结果

单位：Bq/kg

总 $\alpha$	总 $\beta$
(4.08 $\pm$ 1.10) E+02	(6.95 $\pm$ 0.39) E+02

**结论：**

北京大学应用化学系放射性药物研究中心拟建场址现有室内部分外照射剂量率水平处于北京地区的正常本底范围之内，本项目拟建场址现有室外部分外照射剂量率水平处于北京地区的正常本底范围之内。拟建场址内东侧土壤样品总  $\alpha$  分析结果为 408 Bq/kg，总  $\beta$  分析结果为 695 Bq/kg。

表 9 项目工程分析和源项

## 工程设备和工艺分析

### 1. 工作原理

回旋加速器由水冷、真空、电源、离子源、高频、主磁铁、控制、举升等多个系统组成，加速负氢离子，剥离引出 14MeV 质子束流。再利用质子束流轰击靶物质，制备 F-18、Cu-64、Ga-68、Ge-68、Zr-89、In-111、Y-90、Lu-177、Tc-99m 等核素。

回旋加速器的工作原理如图 9-1 所示。在回旋加速器中心部位的离子源经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dee 的半圆形电极盒（简称 D 型盒）中运动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。设粒子的质量为  $m$ ，所带电荷为  $q$ ，所具有的运动速度为  $v$ ，运动方向垂直于磁场强度为  $B$  的磁力线，粒子受到垂直于  $v$  和  $B$  的 Lorentz 力  $F_L$  的作用，该力为：

$$F_L = vBq \quad (9-1)$$

粒子轨道的曲率半径  $r$  由离心力和  $F_L$  之间的平衡状态来确定：

$$mv^2/r = vBq \quad (9-2)$$

由（5-2）可得粒子的速度  $v$ ：

$$v = qBr / m \quad (9-3)$$

根据（5-2）和动能方程，粒子产生的动能为：

$$E = mv^2/2 = B^2q^2r^2 / 2 \quad (9-4)$$

在回旋加速器中心区域，粒子被拉出后经电场的加速而获得较低的初速度  $v_1$ ，同时，磁场也对这些粒子产生作用，两种场作用的结果是粒子在 Dee 间隙(gap)内按螺旋轨道飞行。经过非常短的时间后，粒子经 gap 进入另一个 Dee 电极盒，此后，粒子在该 Dee 电极盒一边飞行到等电势的另一边。每越过一个 gap 后，其轨道半径将比前一次的轨道半径大。粒子运动的瞬时轨道半径将随时间  $t$  的增加

而增大，粒子运动速度的平方与粒子旋转的圈数成比例。被加速粒子运动的螺旋轨道半径  $r$  与运行时间  $t$  的平方根成正比。带电粒子经多次加速后，圆周轨道半径达到最大并获得最大的能量，在该点处粒子将被束流提取装置提取引出进入靶室。

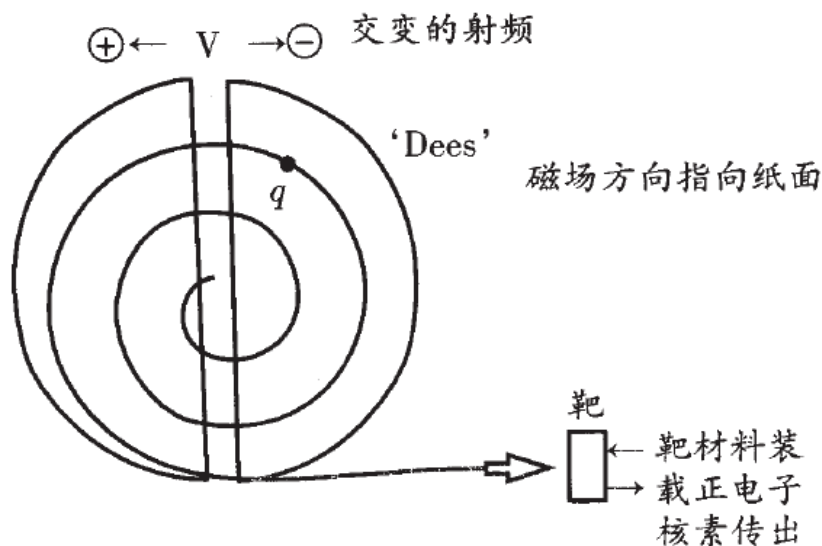


图 9-1 回旋加速器的工作原理简图

加速器制备放射性同位素是利用加速器将带电粒子加速到一定的能量，轰击特定的靶材料，引起核反应而实现的。生产出来的放射性核素一般为缺中子核素，以发射  $\beta^+$  或电子俘获形式进行衰变，能量适度，半衰期短，辐射危害小，适合 PET 显像。

## 2. 回旋加速器系统组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等主系统组成。

磁场系统提供被加速的带电粒子在所控制的轨道中做圆周运动所需要的磁场强度，由磁铁、线圈、磁场电源配给系统等组成。

射频系统提供加速带电粒子所需的高频振荡加速电压，其频率与粒子多级轨道的旋转频率相等，由射频谐振腔、射频发生器和馈通电缆组成。

离子源系统产生需要加速的负离子，由离子源、离子源电源配给器和气体控制系统组成。离子源的类型是冷阴极电离计，产生氢负离子和/或氘负离子。



束流提取系统直接将加速的带电负离子从真空箱中引出，该系统的基础是剥离膜。被加速的负离子在通过剥离膜时被脱去 2 个电子而转变为质子束流。

靶系统是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，各种类型的靶系统主要由靶室、真空绝缘箔、冷却系统组成。本项目的加速器配置两套用于核素生产靶，分别布置于加速器的两个引出口。靶系统包括靶体、自动加样、靶窗冷却、传靶系统。

真空系统建立离子加速所需要的真空压力水平，降低束流的丢失，为高电压射频场提供绝缘。

冷却系统包括水冷却系统和氦冷却系统。水冷却系统主要用于从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。氦冷却系统主要在轰击期间对靶室和靶窗的箔膜和钛箔膜之间进行冷却，两个箔膜之间的氦气流提供了所必需的冷却。

### 3. 操作工艺流程

#### (1) 回旋加速器的操作流程

回旋加速器包括水冷、真空、电源、离子源、高频、主磁铁、控制、举升等多个子系统。控制系统作为整个加速器的监控核心，起着对各个设备的参量采集监控、远程开停、联锁等功能，对整个装置安全可靠、稳定运行起着重要作用。回旋加速器的计算机遥控开机流程如图 9-2 所示。

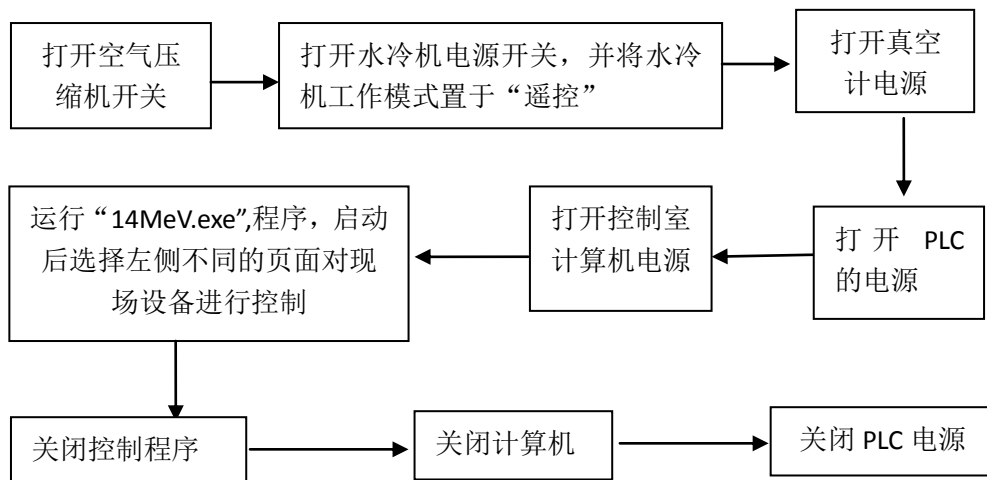


图 9-2 回旋加速器计算机控制系统操作流程

## (2) 核素制备

提前一天根据预定的药物数量，向回旋加速器室预定安排第二天的放射性药物生产量。核素制备前对回旋加速器进行调试，设置相应参数。回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器室内，仅在加速器控制室内操作。使用回旋加速器制备核素的流程见图 9-3。

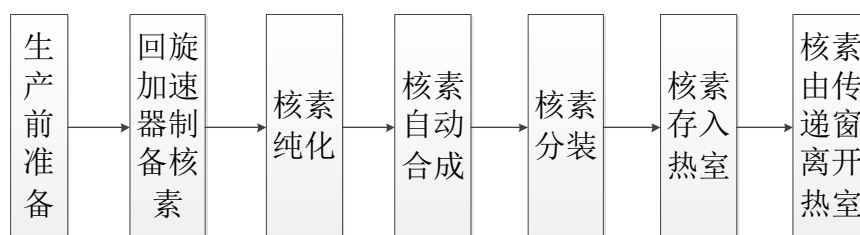


图 9-3 回旋加速器生产核素流程

### ①生产前准备

回旋加速器在每次正式制备放射性同位素前均进行预处理。用  $^{16}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$  先清洗靶和用纯氦吹干药物传递管道，然后注入靶物质，F-18 采用液体靶，其他的根据需要可以使用液体靶或固体靶方案，提前将液体靶或固体靶件及靶材通过管道或跑兔系统运输、装载于加速器束流出口。以一定的束流轰击一定的时间（视所需制备量而定）后，将制备的核素通过专用防护管道系统，在氦气推动下输送至热室的药物合成器内，进入显像药物合成系统，再用高纯氦气将药输送管道吹干。

### ②核素纯化

使用束流轰击装入靶腔内的液体靶一段时间后，通过气体压力将靶腔内的靶水输送至热室铅柜中，进行纯化；固体靶方案，将靶片安装在固定靶装置上，束流轰击一段时间后，通过“跑兔”装置将靶片自动传输至热室铅柜中，加入酸将靶材溶解，进行纯化。核素纯化工序通过热室中的自动化设备，由操作人员通过计算机控制实现。

### ③药物合成

根据需要进行放射性合成实验，在合成热室内由计算机控制的自动化程序

完成。操作人员在操作计算机，自动完成药物制备。本项目配备自动合成设备：专用 18F-FDG 自动化学合成系统、多功能自动 18F11C13N 放射性示踪剂标记合成系统。

#### ④核素分装

将纯化后的核素或合成后的核素传送到分装柜，根据实验需要按活度在热室分装室内自动分装。铅柜的控制终端在控制室或热室铅柜外，通过电脑进行操作。手动合成及分装时，所有操作都在铅柜中进行，人员在铅柜外在铅柜前方通过操作口进行操作。

#### ⑤核素转出热室

将分装后的核素存放在热室中的铅柜中，或者将分装后的核素放入铅桶中，通过传递窗离开热室。

### 污染源项描述

#### 1. 正常工况

##### (1) 回旋加速器的污染源项

本项目主要的污染物是回旋加速器运行过程中产生的射线和少量放射性气体。主要污染途径是外照射。

①中子：加速器运行主要产生中子，污染途径为外照射。

② $\gamma$ 射线：本加速器的 $\gamma$ 射线主要来源于加速器部件、靶周围器件、准直器等受中子照射而活化，生成以短半衰期为主的感生放射性。

③空气活化：加速器大厅内的空气受中子照射后可生成放射性活化气体，主要核素有 Ar-41、C-11 和 O-15 等。

④结构材料活化：加速器日常维护更换下来内部构件带有感生放射性，工作人员为了调节实验装置或检修加速器时，可能受到直接外照射。

⑤有害气体：加速器运行过程中，空气在中子、 $\gamma$ 射线照射下产生臭氧 O<sub>3</sub> 和氮氧化物 NO<sub>x</sub>。

## (2) 丙级非密封放射性物质工作场所的污染源项

本项目制备核素场所的污染因子为： $\beta/\gamma$  射线。污染途径主要为操作核素对工作人员的外照射影响，可能造成手和皮肤的污染。

### 2. 事故工况

#### ①人员误闯回旋加速器大厅

回旋加速器工作人员误留或非工作人员误闯到正在工作中的加速器机房。由于管理疏忽，在未察觉机房内有停留人员的情况下开机；或加速器联锁装置发生故障时，可能会发生人员停留在正在运行的加速器大厅内，造成人员不必要的照射。停留人员受到中子、 $\gamma$  射线的外照射。

#### ②同位素洒落

操作放射性同位素时发生容器破碎，同位素泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成周围环境的污染。泼洒的同位素挥发将产生少量放射性废气，污染洗消和清除将产生少量的放射性固体废物。

#### ③同位素传输故障

由于液体靶密封膜片或传输时管线的故障，加速器打靶过程中或打靶后发生同位素不能传输故障，引起同位素泄漏，导致操作现场污染。

表 10 辐射安全与防护

## 项目安全设施

### 1. 厂房布局

新建的放射性药物研究中心位于北京大学技术物理大院西北角，见附图 2。一层主要为加速器机房和控制室，平面图见附图 3。

二层主要为作合成、分装等操作核素的热室，平面图见附图 4。

三层为通风机房，平面图见附图 5。

新建放射性药物研究中心立面图见附图 6。

表 10-1 放射性药物研究中心各房间情况

序	房间名称		尺寸, 长 m×宽 m×高 m	功能	主要工艺设备
1	一 层	加速器室	3.3×5.7×5.0	核素打靶	加速器
2		控制室	6.0×4.4×2.8	加速器控制	加速器控制台
3		电梯间	2.0×2.3×12.3	电梯运行	电梯
4	二 层	热室	4.2×4.4×2.6	核素纯化、分析	铅柜
5		后区	2.1×6.5×2.6	设备维修	热室管线设备
6		穿洁净服	1.7×1.6×2.6	穿着洁净服	/
7		检测间	1.9×1.3×2.6	沾污检测	沾污仪
8		去污间	1.6×2.1×2.6	沾污清洁	喷淋设备
9		换鞋一更	1.9×1.6×2.6	换衣间	/
10		电梯厅	5.3×3.4×2.6	热室出入准备	传递窗
11		气闸	1.5×1.2×2.6	后区过渡间	/
12		气闸	1.8×1.3×2.6	人流过渡间	/
13	三 层	通风机房	9.1×6.5×2.7	设备机房	空调、通风、冷却主机

### 2. 辐射工作场所分区

依据管理的需要，将辐射工作场所划分为控制区和监督区。一层、二层辐射工作场所分区的示意图见附图 7、附图 8。

控制区：一层加速器机房，主要作为加速器运行区域； 二层热室及后区，作为操作放射性核素区域。

监督区：厂房除控制区外的其它房间，主要作为放射性工作人员工作或设备维护区域。

### 3. 辐射防护措施

#### (1) 加速器机房布局

回旋加速器机房的内尺寸为 3.3m×5.7m×5.0m。本项目加速器的两个引出口配置两套核素生产靶，引出口位置不朝向迷道外侧门。机房内加速器安全设备布置见附图 11。

#### (2) 屏蔽防护

加速器机房屏蔽防护见表 10-1，墙体采用钢筋混凝土（密度 2.3g/cm<sup>3</sup>）。二层各房间的屏蔽防护见表 10-2。

表 10-1 回旋加速器机房的屏蔽

房间名称	屏蔽体	屏蔽材料	厚度
回旋加速器机房	东侧迷道内墙 1	钢筋混凝土	0.6m
	东侧迷道内墙 2	钢筋混凝土	1.0m
	迷道外墙	钢筋混凝土	1.0m
	西墙	钢筋混凝土	1.6m
	南墙	钢筋混凝土	1.6m
	北墙	钢筋混凝土	1.6m
	屋顶	钢筋混凝土	1.5m
	迷道内门	石蜡	20cm
	迷道外门	石蜡	20cm
加速器	靶头局部屏蔽	铅，聚乙烯	5cmPb+30cmPE

表 10-2 二层各房间的屏蔽防护

工作场所	北墙	南墙	东墙	西墙	楼顶	地面
热室	25cm 混凝土	25cm 混凝土	彩钢夹芯板 10cm	1.6m 混凝土	10cm 混凝土 +10cm 彩钢夹芯板	1.2m 混凝土
穿洁净服间	彩钢夹芯板 10cm	彩钢夹芯板 10cm	彩钢夹芯板 10cm	彩钢夹芯板 10cm	10cm 混凝土 +10cm 彩钢夹芯板	10cm 混凝土
检测	彩钢夹芯板	25cm 混凝土	彩钢夹芯板	彩钢夹芯板	10cm 混凝土	10cm 混凝土

间	板 10cm	土	板 10cm	板 10cm	+10cm 彩钢夹芯板	凝土
气闸	彩钢夹芯板 10cm	彩钢夹芯板 10cm	彩钢夹芯板 10cm	彩钢夹芯板 10cm	10cm 混凝土 +10cm 彩钢夹芯板	10cm 混凝土
去污间	25cm 混凝土	25cm 混凝土	25cm 混凝土	彩钢夹芯板 10cm	10cm 混凝土 +10cm 彩钢夹芯板	10cm 混凝土
电梯厅	25cm 混凝土	彩钢夹芯板 10cm	25cm 混凝土	彩钢夹芯板 10cm	10cm 混凝土 +10cm 彩钢夹芯板	10cm 混凝土

#### 4. 其它安全措施

本项目除了建筑屏蔽外，其它的辐射安全措施还有：

(1) 门机连锁：迷道内侧屏蔽门及迷道外侧屏蔽门和加速器连锁，只有当屏蔽门关闭后加速器才能出束，门一旦打开，立即停止出束。

(2) 警示标识：加速器机房门口标有电离辐射警示标志，并有当心电离照射等警示语。

(3) 声光报警：清场以后关闭防护门时，门口的声光报警响起。加速器准备出束前，控制室内连锁装置显示屏会提示“准备供束”。出束时，提示语变成“正在供束”，同时加速器门口的运行状态指示灯由绿色变成红色。在机房内、门外和控制台设信号指示灯，表明加速器的停机和出束状态。

(4) 急停按钮：在加速器机房北侧墙壁、南侧墙壁、迷道入口和控制台装有醒目的急停按钮，如果有人误留加速器室大厅，则迅速按下急停按钮，加速器立即停止供束。

(5) 清场按钮：在加速器机房北侧墙壁、南侧墙壁和迷道入口处设有清场按钮，在开机之前必须按照巡行路线在规定时间内完成进行清场，完成清场后，才能关闭屏蔽门，关闭屏蔽门后才能进行供束操作。

(6) 剂量连锁：厅门处安装固定式伽马监测仪，预设值（ $2.5\mu\text{Sv/h}$ ），当加速器大厅剂量超过该设置值，同时加速器厅门在外部操作开门不能打开。安全连锁：加速器开机前，启动通风。15 分钟后运行人员利用供束钥匙关闭供束开关，

在厅内剂量安全情况下，打开防护门，进行厅内巡检、之后关门。供束钥匙回到控制台，打开供束开关。在所有急停按钮未被按下情况下，方可进行开机。

急停按钮、清场按钮及监测探头位置布局见附图 11。

### (7) 自屏蔽

自屏蔽用于靶的中子和伽马射线防护，采用铅、聚乙烯复合材料，厚度为 5cmPb+30cmPE。打靶时将自屏蔽推到靶位置。

(8) 铅柜的屏蔽：热室内铅柜采用 75mm 铅当量的铅板和铅玻璃进行屏蔽防护。

### (9) 监测仪器

本项目拟配备 2 台便携式  $\gamma$  剂量率仪，1 台便携式中子剂量率仪，3 台个人剂量报警仪，在加速器机房安装 1 套固定式  $\gamma$  剂量率监测系统，1 台表面污染检测仪以及个人剂量计等，能满足工作的需要，本项目配备仪表情况见表 10-3。

表 10-3 监测仪表清单

序号	仪器名称	数量, 台	型号	用途	设备情况
1	便携式 $\gamma$ 剂量率仪	2	MODEL 2241-2	测量 $\gamma$ 剂量率	正常
2	$\gamma$ 剂量率监测系统	1	WF-PTM-K	场所 $\gamma$ 剂量率的连续监测	新增
3	个人剂量报警仪	3	PDM-227C	测量 $\gamma$ 剂量率	正常
4	便携式中子剂量率仪	1	FJ373	测量中子剂量率	正常
5	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染检测仪	1	Monitor	表面污染检测	新增
6	个人剂量计	1 支/人	—	测量工作人员个人剂量	新增

## 三废的治理

### 1. 放射性废水

本项目制备的核素是 F-18 (半衰期 1.83h)、Cu-64 (半衰期 12.7h)、Zr-89 (半衰期 78.41h)、Y-90 (半衰期 64.1h)、Tc-99m (半衰期 6.01h)、In-111 (半衰期 2.83d)、Lu-177 (半衰期 6.647d) 等 7 种短半衰期核素，会产生少量的含有以上核素的放射性废液。本项目每个铅柜配有 1 个 2L 的废液瓶，共配 3 个。将废



液按核素种类进行封装登记后，收集在废液瓶中，先暂存在热室的铅柜内，再交由化学与分子工程学院应用化学系统一管理，送北京大学核废料库储存。待暂存 10 个半衰期后，经检测达到解控水平后，申请解控按普通化学废液处理。

## 2.放射性废气

本项目加速器运行过程中，射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，加速器机房内的空气受中子照射后可生成放射性活化气体，主要核素有 Ar-41、C-11 和 O-15 等。本项目的丙级非密封放射性工作场所的热室在制备核素的过程中，也会产生少量的放射性气体。

新建放射性药物研究中心设三套通风系统，加速器室、二层热室和二层其它实验室各设一套通风系统独立通风，排风口设在二层顶。各房间和通风橱都设有排风管道，这些气体都是从活度低至高的房间逐一排入通风管，为防止废气回流，每个房间的通风管道都设有止回阀。各区域废气送至通风机房外的排放系统，由活性炭过滤器组成的过滤装置过滤净化后排入环境。

### ①加速器通风系统

加速器室设独立排风系统，该系统中设置 GJ2100-L/R 空气净化箱，于通风机房外的排风管道中，净化后进入排风机即排出至大气，净化效率 99.9%，风量 1000m<sup>3</sup>/h，换气次数不低于 6 次/h。

### ②二层热室通风系统

二层热室送风口设置于后区、后区气闸、热室。在热室的三个铅柜中，单独设有各一个排风口，独立排风系统，该系统中设置 GJ2100-L/R 空气净化箱，于通风机房外的排风管道中，净化后进入排风机即排出至大气，净化效率 99.9%，风量 1000m<sup>3</sup>/h。

### ③二层其它实验室通风系统

二层其它实验室送风口设置于穿洁净服间、换鞋一更、检测间气闸、检测间、电梯厅。

## 3.放射性固体废物

加速器与核药物实验可能产生包括靶片、靶室零件、实验容器（滴管、离心管）、核素纯化树脂、注射器、移液枪头、实验手套等劳保用品。

固体废弃物的产生量：每次运行产生固废总体积不大于 10L，每年运行 50 次，预计每年产生的放射性固体废物量为 0.5 立方米。加速器室、热室各铅柜内、热室均设有专用的屏蔽放射性废物桶，产生的固体废物先分类收集于放射性废物桶（注射器针头作为利器单独处理，固体靶片、靶室零件单独处理），待收集满后标明类别、日期，交由北京大学化学与分子工程学院应用化学系统一管理、北京大学核废料库暂存。待超 10 个半衰期后，向环部部门提交检测、解控申请，待批复同意后解控，按一般化学废弃物处理。

表 11 环境影响分析

**建设阶段对环境的影响**

本项目的厂房建造和设备安装过程中会产生零星的噪声和少量的固体废物，因此，建设阶段对环境的影响很小，可忽略不计。

**运行阶段对环境的影响**

**1.加速器运行的辐射环境影响分析**

**(1) 源项**

回旋加速器在运行时，产生的中子、 $\gamma$  射线以及因中子活化而产生的感生放射性，对人产生直接外照射。回旋加速器年最大开机时间 100 小时。

①中子

回旋加速器运行时，产生中子的最大能量为 14MeV，FDG 靶单靶的最大束流 150 $\mu$ A，运行期间为双靶同时打靶，总的束流强度为 300 $\mu$ A。1 $\mu$ A 束流相当于 6.25E+12 质子/s。通过 MC 计算，FDG 靶一个质子平均产生 3.91E-3 个中子，则单靶的中子发射率为 3.67E+12n/s，双靶产生的中子数为 7.34E+12n/s，即回旋加速器运行时中子发射率为 7.34E+12n/s。

②放射性气体  $^{41}\text{Ar}$  的排放量

实验大厅空气受中子活化产生放射性气体  $^{41}\text{Ar}$ ，其产生量由 (11-1) 计算：

$$Q = \lambda \cdot \phi \cdot R \cdot N \cdot \sigma \cdot t \quad (11-1)$$

式中：Q—核素  $^{41}\text{Ar}$  的年排放量；

t—年运行时间，100h $\times$ 3600s/h=3.6E+5s；

$\lambda$ —核素  $^{41}\text{Ar}$  的衰变常数， $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1.8h \times 3600s/h} = 1.07E-4 \text{ s}^{-1}$ ；

$\phi$ —大厅内中子发射率，7.34E+12n/s；

$\sigma$ —母核  $^{40}\text{Ar}$  的活化截面，15.7mb=1.57E-26cm<sup>2</sup>；

R—房间内空气的有效半径，282cm；

N—单位体积空气中的<sup>40</sup>Ar原子序数，2.53E+17 个/cm<sup>3</sup>；

经上式计算，可得放射性气体<sup>41</sup>Ar的排放量为3.17E+8Bq。

### ③γ射线

由于中能质子回旋加速器（14MeV）运行时，机房的屏蔽厚度在满足加速器产生的中子辐射屏蔽要求时认为同时能满足γ射线的防护要求，因此运行过程主要考虑中子屏蔽计算，不再计算γ射线。

对于打靶产生的感生γ射线，γ射线的主要来源为，质子轰击靶体产生的放射性核素，产生感生放射性的主要设备为靶的准直器，准直器材料为纯铜，产生感生放射性的核素主要是Zn-63（半衰期38.5min）。加速器连续运行2小时，接受平均流强为10μA时，准直器1m处的剂量率为4.4mGy/h。加速器带有靶的局部屏蔽，采用铅，聚乙烯复合材料，厚度为5cmPb+30cmPE，用于屏蔽靶的中子和打靶γ射线。Zn-63的γ射线能量669.62KeV（8.2%），铅十分之一值层厚度2.34cm，聚乙烯十分之一值层厚度57.3cm，经5cmPb+30cmPE屏蔽后剂量率为10μGy/h。又至少通风15min后加速器屏蔽门才打开，人员方能进入，准直器的活度会降低，感生γ射线剂量率也会进一步降低。通过以上分析，本项目γ射线对周围环境的影响很小。

## （2）剂量估算模式

### ①中子外照射

中子的直接照射剂量由下式（11-2）计算（参考辐射防护基础p173公式7.17）：

$$D_n = \frac{\varphi B_1 f_H t}{4\pi r^2} e^{-\Sigma d} \quad (11-2)$$

式中：D<sub>n</sub>—中子直接照射所致年剂量，Sv/a；

φ—中子发射率，单靶3.67E+12n/s；

f<sub>H</sub>—中子的剂量换算系数。14MeV时，对应值为1.50E-06（Sv/h）/(中子/cm<sup>2</sup> s)，由《辐射防护手册》第一册p331表6.9内插得到；

t—年运行时间, 100h (3.6E+5s);

r—计算点到源的距离, cm;

$\Sigma$ —中子宏观分出截面, 混凝土:  $0.0942\text{cm}^{-1}$  (辐射防护基础 p168 表 7-1);

B—初始累积因子, 在 14MeV 时, 对混凝土, B=5 (辐射防护基础 p172 表 7-3);

d—屏蔽层厚度, cm。

## ②空气浸没外照射

$^{41}\text{Ar}$  产生的空气浸没外照射估算模式为:

$$D_{\text{浸}} = S_F \cdot Q \cdot \frac{\chi}{Q} \cdot G \quad (11-3)$$

$$\frac{\chi}{Q} = \frac{16 \cdot P_p}{\sqrt{2\pi^3} \cdot \chi \cdot \sigma_z \cdot u} \quad (11-4)$$

式中:  $D_{\text{浸}}$ —空气浸没照射所致年剂量, Sv/a;

$S_F$ —建筑物屏蔽因子, 对个人取 0.7;

$Q$ — $^{41}\text{Ar}$  的年释放量,  $3.17\text{E}+8\text{Bq/a}$ ;

$G$ —浸没照射的剂量转换因子,  $6.1\text{E}-14$  (Sv/s) / ( $\text{Bq/m}^3$ ), 查自 GB18871-2002P177 表 B10。

$\frac{\chi}{Q}$ —长期扩散因子,  $\text{s/m}^3$ ;

$P_p$ —天气频率, 保守取 0.25;

$x$ —下风向距离, m;

$u$ —排风高度处的风速, 2m/s;

$\sigma_z$ —垂直扩散参数, m。由 U.S.NUCLEAR REGULATORY

COMMISSION REGULATORY GUIDE, June 2003, P26Fig.5 查出, 稳定度 F。

### (3) 估算结果

#### ①中子外照射估算结果

本项目机房拟设置于北京大学技术物理大院的西北角的放射性药物研究中心一层, 计算点位主要关注 7 个点, 如图 11-1 所示。

A 点: 北墙外;

B 点: 西墙外;

C 点: 南墙外;

D 点: 东墙外;

E 点: 入口外;

F 点: 北墙外;

G 点: 机房顶。

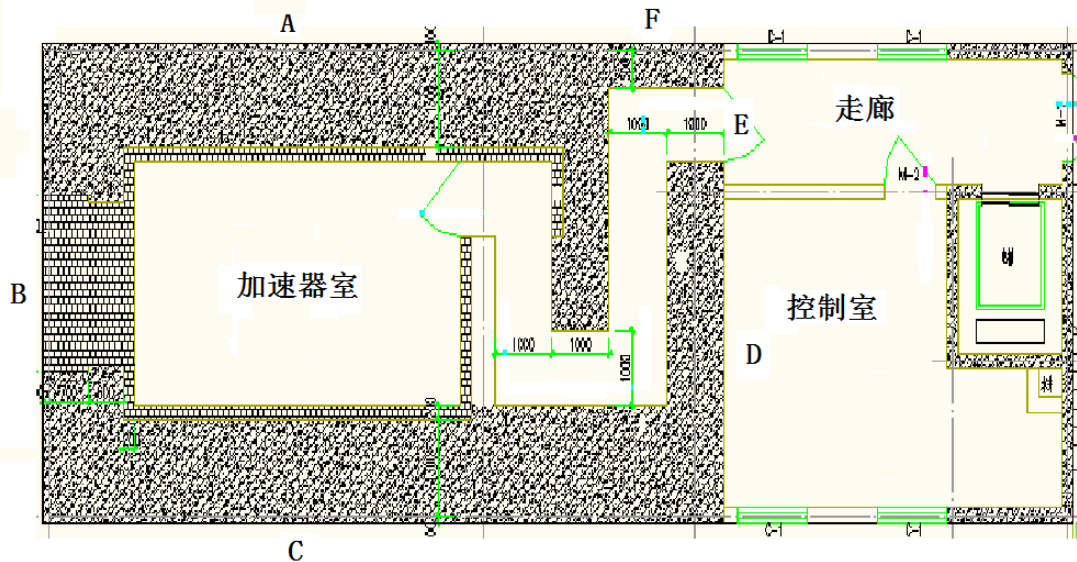


图 11-1 计算点位示意图

加速器运行时, 控制室内人员受中子和光子照射的计算参数及结果见表 11-1。

表 11-1 中子直接外照射的剂量估算

计算点	A	B	C	D	E	F	G
位置	北墙外	西墙外	南墙外	东墙外	入口处	北墙外	顶层
屏蔽材料	钢筋混凝土				钢筋混凝土，石蜡	钢筋混凝土	
厚度，cm	160	160	160	160*	100+40*	339*	150
距源 1m 处中子注量率 $\phi$ ，	3.67E+12	3.67E+12	3.67E+12	3.67E+12	3.67E+12	3.67E+12	3.67E+12
初始累积因子	5	5	5	5	5	5	5
中子的剂量转换因子， (Sv/h)/(中子/cm <sup>2</sup> ·s)	1.50E-06	1.50E-06	1.50E-06	1.50E-06	1.50E-06	1.50E-06	1.50E-06
中子宏观分出截面，cm <sup>-1</sup>	0.0942	0.0942	0.0942	0.0942	0.0942， 0.109	0.0942	0.0942
计算点到右上引出口的距	131.7	379.6	198.3	391.8	579.0	273.8	400.0
右引出口产生的剂量率，	4.61E-05	5.54E-06	2.03E-05	8.32E-05	9.48E-06	5.83E-15	5.12E-05
计算点到左下引出口的距	228.3	191.9	100.9	579.3	785.9	483.6	400.0
左引出口产生的剂量率，	1.53E-05	2.17E-05	7.84E-05	2.77E-05	2.44E-06	1.05E-15	5.12E-05
<b>剂量率合计， mSv/h</b>	6.14E-05	2.72E-05	9.87E-05	<b>1.11E-04</b>	1.19E-05	6.87E-15	1.02E-04
年时间，h	100	100	100	100	100	100	100
居留因子	1/16	1/16	1/16	1	1/4	1/8	1/4
年剂量，mSv/a	3.84E-06	1.70E-04	<b>6.17E-04</b>	<b>1.11E-02</b>	2.98E-04	8.59E-14	2.56E-03

\*注：①D 点的屏蔽厚度保守只考虑了 0.6m 厚的迷道内墙 1 和 1m 厚东侧迷道外墙两道墙，实际 D 点所在控制室多数位置还有 1m 厚迷道内墙 2 的屏蔽。②

F 点厚度 339m 是射线倾斜穿出的厚度。③E 点的屏蔽考虑了 1m 厚迷道内墙 2 和 40cm 石蜡两重防护。

本项目加速器运时最大剂量率位于 D 点，剂量率为  $1.11E-01\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的限值。对工作人员最大剂量为  $1.11E-02\text{mSv/a}$ ，对公众最大剂量为  $6.17E-04\text{mSv/a}$ 。

### ②空气浸没外照射

空气浸没外照射计算参数和结果见表 11-2。

表 11-2  $^{41}\text{Ar}$  空气浸没外照射计算参数和结果

x, m	1	5	10	20	50
$\sigma_z, \text{m}$	0.06	0.30	0.35	0.6	1.15
$\frac{\lambda}{Q}, \text{s/m}^3$	4.26E+00	1.69E-01	7.26E-02	2.12E-02	4.42E-03
$D_{\text{浸}}, \text{mSv/a}$	5.77E-02	2.29E-03	6.54E-04	2.86E-04	5.98E-05
说明	工作人员, 公众	公众	公众	公众	公众

### ③换 HAVA 膜的剂量估算

本项目的装载生产靶是将液体靶或固体靶件及靶材通过管道或跑兔系统运输、装载于加速器束流出口，人员在热室内操作，故不考虑换生产靶的剂量估算。

加速器的定期维护需要更换 HAVA 膜。根据加速器运行经验数据，本项目加速器运行停机 24 小时后，距离氦冷窗膜片（HAVA 膜）1cm 处的剂量为  $10\text{mSv/h}$ 。预计每年换 HAVA 膜频率为 2 次，每次人员接触时间 10s，年接触时间 20s/a。则换靶人员的年受照剂量为： $10 \times 20/3600 = 5.56E-02 \text{ (mSv/a)}$ 。

### ④评价

经以上估算，回旋加速器运行时工作人员位于北墙外控制室内（D 点），院内其它工作人员考虑的位置是南墙外（C 点），居留因子取  $1/8$ ，本项目运行人员



的受照剂量列于表 11-3。

本项目加速器运行时最大剂量率位于 C 点，剂量率为  $1.11\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的限值。对工作人员最大剂量为  $1.11\text{E-}02\text{mSv/a}$ ，对公众最大剂量为  $1.39\text{mSv/a}$ 。

表 11-3 人员所受剂量，mSv/a

人员类型	直接外照射	浸没外照射	换靶	总计
工作人员	1.11E-02	5.77E-02	5.56E-02	1.24E-01
公众	6.17E-04	5.77E-02	—	5.83E-02

可见，回旋加速器正常运行时，对工作人员最大剂量  $1.24\text{E-}01\text{mSv/a}$ ，对公众的最大剂量为  $5.83\text{E-}02\text{mSv/a}$ 。

叠加 2016 年本项目辐射工作人员的年剂量监测结果  $0.08\text{mSv/a}$  (见附件 3)，得到本项目运行后，对工作人员的最大剂量为  $2.04\text{E-}01\text{mSv/a}$ 。

## 2. 非放射性气体影响分析

回旋加速器的非放射性影响主要是电离辐射与空气作用产生的  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_2$ 。分析如下：

①本回旋加速器运行时产生中子， $\text{O}_3$  主要由中子与空气作用产生：

②将辐照区域内的空气等效为球体，中子源看作点源，部位于受辐照空气球的中心，各向同性发射；

③利用中子在空气中的比释动能代替空气中吸收的能量；

④不考虑辐射损失。

⑤回旋加速器为间断运行，年运行时间 100 小时。每次运行时间 2h。运行同时通风，通风量  $1000\text{m}^3/\text{h}$ 。

机房中  $\text{O}_3$  的平均分子浓度  $C$  (分子/ $\text{m}^3$ ) 由  $N(t)$  在每次运行时间  $T$  积分得到：

$$C = \int_0^T \frac{N(t)dt}{TV_0}$$

$$= \frac{PG}{(\lambda + KF)TV_0} \left[ T + \frac{1}{\lambda + KF} (e^{-(\lambda + KF)T} - 1) \right] \quad (11-5)$$

式中：

P—单位时间内空气吸收的中子辐射能量，eV/s；

$$P = 6.24 \times 10^{18} \phi KR \rho \quad (11-6)$$

式中：

6.24E+18—单位转换系数，1J = 6.24E+18 eV；

$\phi$ —中子发射率，7.34E+12n/s；

K—空气比释动能因子，2.29E-15J • m<sup>2</sup>/kg，由《辐射防护基础》p379

附表3内插得；

R—房间空气的等效球半径，2.82m；

$\rho$ —空气密度，1.293 kg/m<sup>3</sup>。

计算出 P=6.93E+17eV/s。

G—单位辐射能量的 O<sub>3</sub> 产额，0.1 分子/eV ；

$\lambda$ —O<sub>3</sub> 的分解速率，2.31E-4 s<sup>-1</sup>；

K—混合均匀系数，取 1/3；

F—辐射区域的通风换气率，4 次/h(1.11E-3 s<sup>-1</sup>)。

TV<sub>0</sub>—运行 T 时间的总排风量，m<sup>3</sup>；

其中：T—每次运行时间，s；实际每次运行 2h；

V<sub>0</sub>—机房体积，m<sup>3</sup>，94m<sup>3</sup>。

辐照空间中某分子的平均质量浓度 C<sub>质</sub> (mg/m<sup>3</sup>) 为：

$$C_{质} = \frac{CM}{Na} \quad (11-7)$$

C—辐照空间中某分子的平均分子浓度，分子/m<sup>3</sup>；

M—分子的摩尔质量，O<sub>3</sub> 为 4.8E+4mg/mol，NO<sub>2</sub> 为 4.6E+4mg/mol；

Na—阿佛加德罗常数，6.02E+23 分子数/mol。

计算出回旋加速器每次最长运行 2h，大厅内分子数和质量浓度见表 11-4。

表 11-4 非放射性污染物浓度

每次运行时	浓度	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>
最长 2h	质量浓度, mg/m <sup>3</sup>	4.16E-02	2.08E-02

当加速器正常运行时, 机房内 O<sub>3</sub> 的饱和浓度为 4.16E-02mg/m<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> 的饱和浓度为 2.08E-02mg/m<sup>3</sup>, 该值均远小于 GBZ2.1-2007《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》中臭氧 (0.3mg/m<sup>3</sup>) 和氮氧化物 (5mg/m<sup>3</sup>) 的浓度限值, 对工作人员是安全的。

以上机房内的 O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 的浓度值也低于《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 臭氧和氮氧化物的 1 小时平均浓度的二级浓度限值 0.2mg/m<sup>3</sup>, 并且加速器机房空气中的 O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 经楼顶的通风设施排放到大气环境中, O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 的环境浓度会比机房内浓度更小, 其对环境的影响也是可以接受的。

### 3. 操作非密封源的辐射环境影响分析

#### ①源项

本项目制备的 7 种非密封放射性核素的基本参数见表 11-5。

表 11-5 本项目操作非密封源的基本参数

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	空气比释动能率常数 Gy·m <sup>2</sup> ·Bq <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup>	铅的十分之一层厚度(mm)	β 射线在玻璃中的射程 (mm)	未屏蔽时 1m 处的最大剂量率(Sv/h)
1	F-18	1.85E+09	3.72E-17	17	0.9	2.58E-04
2	Cu-64	1.85E+09	7.15E-18	17	1	4.76E-05
3	Zr-89	1.85E+08	5.26E-17	34	/	3.50E-05
4	Y-90	1.85E+08	2.33E-21	-	4.9	1.55E-09
5	Tc-99m	1.85E+09	5.03E-18	1	2.2	3.35E-05
6	In-111	1.85E+08	2.12 E-18	3	0.2	1.412E-06
7	Lu-177	1.85E+08	1.19E-18	-	0.5	7.925E-07

注: 铅的十分之一减弱层厚度参考《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》及夏益华编《高等电离辐射防护教程》P304 中附表 9。

加速器室打靶生产出放射性核素后, 由自动化的跑兔装置将靶水送入热室铅柜后, 在自动化淋洗与纯化装置上进行放射性纯化, 在控制室远程操作完成, 此过程不需要人员近距离操作。

放射性核素可以直接进行封装，也可以进行核药物的合成。核药物的合成可以在自动化模块远程操作进行，也可以在人员手动操作完成。手动操作步骤在铅柜的防护下进行，每次操作时间约 20 分钟。纯化后的放射性核素/药物需要由操作人员在铅柜中进行分装与封装，并转移至铅桶中，此部分需要操作人员在铅柜的防护下进行操作，每次操作时间约 5 分钟。

通过以上核素制备流程可知，完成一次制备过程手工近距离操作的时间最多 25 分钟，年最大操作 250 次，年操作时间保守按照 105h/a 考虑。

手动操作均在热室内铅柜中进行，铅柜采用 75mm 铅当量的铅板和铅玻璃进行屏蔽防护。工作人员的操作距离为 0.5m。

对  $\beta$  放射性的屏蔽要设置原子序数低的材料和原子序数高的材料，由表 11-5 可知本项目使用的放射性同位素产生的  $\beta$  射线在玻璃中的最大射程为 5mm，进行  $\beta$  核素的放射性操作时，铅柜铅玻璃厚 75mm，可以完全屏蔽轻带电粒子。因此主要考虑  $\gamma$  射线屏蔽计算。

## ②估算方法

本项目的非密封放射性核素产生  $\gamma$  射线，实验室每天最多操作一种核素，一定距离处的剂量率根据下面的公式计算：

$$H = 3600 \times \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \times 10^{-\frac{d_{\text{铅}}}{\text{TVL}}} \quad (11-8)$$

式中 H：剂量率，Gy/h；

A：源的活度，Bq；

$\Gamma$ ：空气比释动能率常数， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

r：距点源的距离，m；

d：屏蔽材料铅的厚度，mm；

TVL：十分之一层，mm。

工作人员及公众所受年剂量计算如下：

$$E = H_0 \times t \times T \times K \quad (11-9)$$

式中：E：年有效剂量，Sv/a；

$H_0$ ：工作人员或公众所在位置的剂量率，Gy/h

t：受照时间，h/a；

$K$ : 有效剂量与吸收剂量换算系数, 取  $K=1$ , Sv/Gy;

$T$ : 居留因子。

### ③估算结果

本项目操作非密封源对人员所致剂量的估算参数和结果见下表。

表 11-6 热室铅柜中操作非密封源对工作人员所致剂量情况

序号	核素	A, Bq	$\Gamma$ , $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{Bq}\cdot\text{s}$	TVL, mm	d, mm	r, m	t, h/a	年受照 剂量, Sv/a
1	F-18	1.85E+09	3.72E-17	17	75	0.5	105	1.12E-09
2	Cu-64	1.85E+09	7.15E-18	17	75	0.5	105	2.15E-10
3	Zr-89	1.85E+08	5.26E-17	34	75	0.5	105	2.54E-08
4	Y-90	1.85E+08	2.33E-21	/	75	0.5	105	/
5	Tc-99m	1.85E+09	5.03E-18	1	75	0.5	105	3.91E-81
6	In-111	1.85E+08	2.12 E-18	3	75	0.5	105	1.65E-32
7	Lu-177	1.85E+08	1.19E-18	/	75	0.5	105	/

由上表可知, 在铅柜中进行的操作对工作人员所致的最大年剂量为 2.54E-05mSv/a。本项目的丙级非密封源工作场所在实验过程中只有本实验室工作人员, 公众均位于实验室墙外, 因此, 对公众的剂量可忽略不计。

#### 4. 评价

通过以上分析可知, 本项目正常运行后, 对工作人员的最大年剂量为 2.04E-01mSv/a, 低于工作人员的剂量约束值 2mSv/a; 对公众的最大剂量为 5.83E-02mSv/a, 低于公众的剂量约束值 0.1 mSv/a。公众剂量计算位置选取的是距离放射性药物研究中心最近 (仅 1m) 处, 在技术物理大院的院内道路上。根据直接外照射和浸没外照射均随距离衰减的特性可知, 50m 评价范围其它位置的公众剂量会更小, 故本项目运行对 50m 范围内公众的剂量均能满足公众剂量约束值的要求。

## 事故影响分析

### 1. 事故分析

(1) 回旋加速器工作人员误留或非工作人员误闯加速器大厅

由于分区管理失效，安全连锁装置失效或工作人员误操作人员等原因，造成工作人员误留机房或非工作人员误闯正在运行的加速器大厅，致使误入人员受到超过年剂量照射。

预防措施：①加强分区管理和巡察力度；②定期对安全连锁的有效性进行检查；③加强工作人员的技能培训与考核；④严格按照安全操作规程进行操作。

应急措施：①立即停止出束；②启动辐射事故应急预案；③划出警戒线，疏散非事故处理人员；④进行现场辐射环境监测；⑤对受误照射人员进行生命体征检查，采取医疗救治措施。

(2) 火灾、电源故障等其他事故

电源故障、着火等事故，不会对环境造成辐射污染。

(3) 液体靶泄漏

液体靶在照射和传输过程中，液体靶密封膜片破裂或传输时管线老化破损可能会造成非密封放射性物质泄漏，使加速器机房表面沾污。

(4) 热室内同位素洒落

在操作放射性同位素时有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成周围环境的污染。

本项目在热室内进行同位素的纯化、合成、分装或封装等操作时，由于操作不慎发生容器破碎，同位素泼洒等意外事件，造成热室内局部污染。

### 2. 风险防范措施

(1) 误入加速器机房预防措施

①为防止加速器工作状态下误入加速器机房，在加速器机房的防护门上安装门机连锁。只有当防护门完全关闭后，加速器才能运行、出束。

②安全连锁装置定期检查、维护，确保始终保持在良好的工作状态，门机连锁正常方可开机。

③在加速器工作之前，工作人员必须确认没有其他无关人员在机房内滞留，然后方可关闭门。

④加速器机房外设工作状态指示灯及电离辐射危险标志，在加速器启动前，

声光报警装置发出警告信号，以便人员在产生辐射前安全撤离。

⑤加速器北侧、南侧、迷道入口墙壁和控制台装有醒目的急停按钮，一旦发现异常情况，按下急停按钮可立即切断供束。

#### (2) 靶泄漏预防及处理措施

①实验前检查液体靶密封膜片和传输时管线的性能，确保性能良好。

②如果靶物质泄漏会导致加速器主厅剂量增高，一旦发现打靶引起的异常升高，加速器运行人员应立即采取措施，立即停机。使用表面污染监测仪确定污染范围，控制现场，防止交叉污染。

③由训练有素的专业工作人员进入加速器机房去污，配置合适的去污剂、合理选择去污方法，在去污过程中要防止交叉污染和扩大污染。或者控制现场等泄漏的放射性衰变到可接受安全水平，再进行处理。对去污产生的放射性废物进行收集，装入放射性废物桶暂存。现场去污人员做好个人防护，使用个人剂量报警仪和表面污染监测仪，并佩戴防护用品。

#### (3) 热室内同位素洒落处理措施

若操作不慎将同位素泼洒到热室地面或台面，按照操作规程，发生这类事故时，工作人员迅速使用镊子夹干的吸水纸或棉花收集洒落液（注意防止污染扩散），使用药棉擦洗污染工作台面，然后放入放射性废物桶内进行安全存贮（包括被污染的容器碎片）。

表 12 辐射安全管理

### 1. 辐射安全与环境保护管理机构的设置

北京大学已设有辐射安全管理机构, 并成立辐射防护领导小组及其办公室, 完成全校日常辐射防护工作。由主管副校长担任组长, 成员由各相关职能部门部长和各院系院长(主任)组成, 下设专职辐射防护人员, 见表 1-5, 现有的辐射安全管理机构能够满足本项目的要求。

### 2. 辐射安全管理规章制度

北京大学化学与分子工程学院已建立了放射安全和防护管理相关制度, 包括: 关于辐射安全与防护管理的规定、钴源管理办法、钴源安全操作规程、放射性物质操作规程、同位素库房管理制度、同位素库房管理人员岗位职责、放射化学实验室管理人员岗位职责、化学与分子工程学院辐射防护小组组长岗位职责、放射性同位素管理办法、放射性同位素台帐管理制度、化学与分子工程学院技物楼红外防盗报警系统管理办法及操作规程、设备检修与维护制度、辐射事故应急预案、放射性废物处理预案等。针对本项目, 化学与分子工程学院将制定回旋加速器及核素制备配套设施相关安全操作规程, 补充该制度后辐射安全管理制度能够满足本项目的需要。

### 3. 工作人员培训

学校现有工作人员已全部参加辐射安全与防护培训并取得合格证书, 如新增辐射工作人员将按照计划参加辐射安全与防护培训, 考试合格后上岗。本项目配备 5 名辐射工作人员, 其基本情况及培训情况见附件 5。

### 4. 辐射监测

学校已制定了监测制度, 包含个人剂量监测、工作场所监测、辐射环境监测, 监测结果存档。新增的辐射工作场所应纳入原有的工作场所和辐射环境监测计划中。

对本项目新增辐射工作人员的个人剂量监测, 监测频度为每季度一次。辐射工作人员均按规范佩戴个人剂量计, 按照监测频度定期送检, 监测结果和每年



度个人剂量检测报告存档备案。

新增工作场所的监测计划如下：利用便携式 X- $\gamma$ 辐射巡测仪对加速器机房屏蔽墙外四周、防护门外以及控制室进行定期巡测，监测项目为 X- $\gamma$ 空气吸收剂量率，监测频次为 1 次/半年。每次制备核素利用表面污染仪测量二层实验室的表面污染水平。

本项目辐射工作场所配备的辐射监测仪器见下表，每季度对各机房及周围环境进行监测。本项目共配备辐射剂量仪 8 台，用于放射工作场所的自行监测。

表 12-2 本项目拟配辐射监测仪器和仪表

序号	仪器名称	型号	数量, 台
1	便携式 $\gamma$ 剂量率仪	MODEL 2241-2	2
2	$\gamma$ 剂量率监测系统 (新增)	WF-PTM-K	1
3	个人剂量报警仪	PDM-227C	3
4	便携式中子剂量率仪	FJ373	1
5	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染检测仪 (新增)	Monitor	1
辐射防护用品			
名称	数量	名称	数量
铅衣	2	铅帽	2
铅眼镜	4	铅围裙	2
铅围脖	2	铅屏风	2
个人剂量计	5	/	/

## 5. 放射性废物处理

本项目产生的少量放射性废气经排风系统排入大气中。

本项目运行过程中产生的放射性废水先收集在废液瓶中，暂存在热室的铅柜内，交应用化学系统统一管理，送北京大学核废料库储存。待暂存 10 个半衰期后，经检测达到解控水平后，申请解控按普通化学废液处理。

本项目产生的放射性固体废物先暂存在加速器机房和热室内的放射性废物桶内，交由应用化学系统统一管理、北京大学核废料库暂存。待超 10 个半衰期后，经检测达到解控水平后，按一般化学废弃物处理。

## 6. 与环境保护部第 18 号令的对照

根据环境保护部第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》使用射线装置的单位应具备的条件与法规的符合情况见表 12-3。对照结果表明，该项目采取的安全措施和辐射安全管理能够满足管理办法的要求。

表 12-3 项目执行“18 号令”要求对照表

序号	18 号令要求	项目单位情况	检查结果
1	应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	机房门外标有电离辐射警示标志，机房门上设有工作状态指示灯，机房门设有门机联锁。	符合
2	应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责。	委托有资质的单位对各辐射工作场所进行年度监测。	符合
3	建设项目竣工环境保护验收涉及的辐射监测，应委托经省级以上人民政府环境保护主管部门批准的有相应资质的辐射环境监测机构进行。	将委托符合要求的监测单位进行竣工的辐射监测。	符合
4	应当加强对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况的日常检查。	设有安全管理制度。	符合
5	应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	制定放射工作年度评估报告。	符合
6	应进行辐射安全培训，并进行考核。	制定培训计划，参加初级辐射安全培训并取得考核合格证书。	符合
7	应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测。	委托有资质的单位进行个人剂量监测。	符合

## 7. 与环境保护部第 3 号令的对照

根据环保部第 3 号令《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》使用放射性同位素应具备的条件与法规的符合情况见表 12-4。对照结果表明，该项目单位能够满足管理办法的要求。

表 12-4 项目执行“3 号令”要求对照表

环保部令第 3 号	项目单位情况	结论
使用 I 类、II 类射线装置的, 应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构, 或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	北京大学成立了辐射防护领导小组及其办公室作为辐射安全与环境保护管理机构, 负责北京大学的辐射安全与环境保护工作。	符合
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	从事辐射工作的相关人员, 参加过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并考核合格, 能满足要求。	符合
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	加速器机房张贴辐射警示标志, 设置门机联锁, 防止工作人员和公众受到意外照射。满足关于操作场所设置防止误操作的安全措施的要求。	符合
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器, 包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	配备有个人剂量计若干、监测仪器等。	符合
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	制定了各种管理制度, 对设备有定期检修维护的规定, 有人员培训计划和监测方案。	符合
有完善的辐射事故应急措施	对事故情况制定了《放射源和射线装置意外事故应急准备与响应计划》。	符合

### 8.辐射事故应急

北京大学制定了《放射源和射线装置意外事故应急准备与响应计划》, 此外, 化学与分子工程学院制定了《辐射事故应急预案》, 明确了应急机构、成员及分工、应急程序、事故报告程序、联络方式、事故处理等, 能够满足本项目的需要。

### 项目环保验收内容建议

根据项目实际情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表12-5。

表 12-5 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定。公众执行0.1mSv/a；职业照射剂量约束值执行2mSv/a。
剂量率控制水平	场所周围(包括四周、顶和底)30cm处的剂量率不大于2.5μGy/h。
电离辐射标志和中文警示	在机房门口显著位置处设置明显的辐射警告标识、中文警示说明、工作状态指示灯。
布局和屏蔽设计	工作场所分区管理。屏蔽墙和防护门的辐射防护屏蔽能力满足辐射防护法规和标准的要求。
监测仪器	配备辐射剂量监测仪8台。辐射工作的人员均配备有个人剂量计并严格执行个人剂量监测制度。
规章制度	制定有《放射性物质操作规程》、《同位素库房管理制度》、《化学与分子工程学院辐射防护小组组长岗位职责》、《设备检修与维护制度》、《辐射事故应急预案》、《放射性废物处理预案》等辐射安全防护规章制度。
人员培训	辐射安全防护负责人和全体辐射工作人员均通过辐射防护与安全培训。
应急预案	制定有辐射事故应急预案。辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。应急预案已进行过演练。

表 13 结论与建议

### 结论

(1) 北京大学拟申请新增回旋加速器及配套设施项目，计划使用 1 台 14MeV 回旋加速器，用于制备 PET 放射性核素；同时配套建设 1 处丙级非密封源工作场所作为 PET 药物的生产场所，日等效操作量为  $1.85E+7Bq$ 。项目地点在北京大学技术物理大院的放射性药物研究中心，用于 PET 分子影像与放射化学基础科研。本项目符合实践正当性的要求。

(2) 本项目拟建场址及周围的本底辐射水平在北京市本底辐射水平范围内，属于正常水平。

(3) 本项目射线装置的工作场所装有安全联锁装置，对辐射工作场所进行了分区，制定了操作规程并严格执行，这些安全措施能够保证北京大学辐射工作的安全运行。

(4) 在正常情况下，本项目工作人员个人年剂量为  $2.04E-01mSv/a$ ，小于剂量约束值  $2 mSv/a$ 。50m 评价范围内，对公众所致的最大个人年剂量是  $5.83E-02mSv/a$ ，小于剂量约束值  $0.1mSv/a$ 。对环境的影响是可以接受的。

(5) 本项目产生的放射性废气经排风系统排放到环境空气中。放射性废液先收集在废液瓶中，暂存在热室的铅柜内，交应用化学系统统一管理，送北京大学核废料库储存，申请解控按普通化学废液处理。放射性固体废物先暂存在加速器机房和热室内的放射性废物桶内，交由应用化学系统统一管理、北京大学核废料库暂存，申请解控按一般化学废弃物处理。

(6) 北京大学制定了辐射事故应急预案，并定期组织实施辐射事故应急预案的演练，通过应急演练不断完善应急预案。

综上所述，从辐射环境保护角度分析，本项目是可行的。

## 建议和承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京大学承诺：

（1）严格执行已有的辐射防护与安全管理制度，绝不弄虚作假、绝不违规操作。

（2）完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行，并接受环保部门的监督检查并及时整改检查中发现的问题；

（3）本项目竣工后，建设单位应根据“关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告（国环规环评[2017]4号）”及国家相关规定的要求及时组织该建设项目竣工环境保护验收，编制环境保护验收监测报告。确保建设项目配套建设的环境保护设施验收合格后，主体工程方可投产运行。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公章

年 月 日

审批意见：

经办人

公章

年 月 日